

**Die Anwendbarkeit
der Lithiumfluorid-Thermolumineszenz
in der medizinischen Dosimetrie
im Vergleich
zur Dosimetrie mit einer Ionisationskammer**

von

Ekkehard Keil
aus Freiberg/Sachsen

Aus dem Institut für Physikalische und Medizinische Strahlenkunde
der Universität Erlangen - Nürnberg
Leiter: Prof. Dr.-Ing. F. Wachsmann

Die Anwendbarkeit der Lithiumfluorid-Thermolumineszenz in der me-
dizinischen Dosimetrie im Vergleich zur Dosimetrie mit einer Ioni-
sationskammer

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Friedrich-Alexander-Universität
zu Erlangen-Nürnberg

Vorgelegt von
Ekkehard Keil

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät der Friedrich-
Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



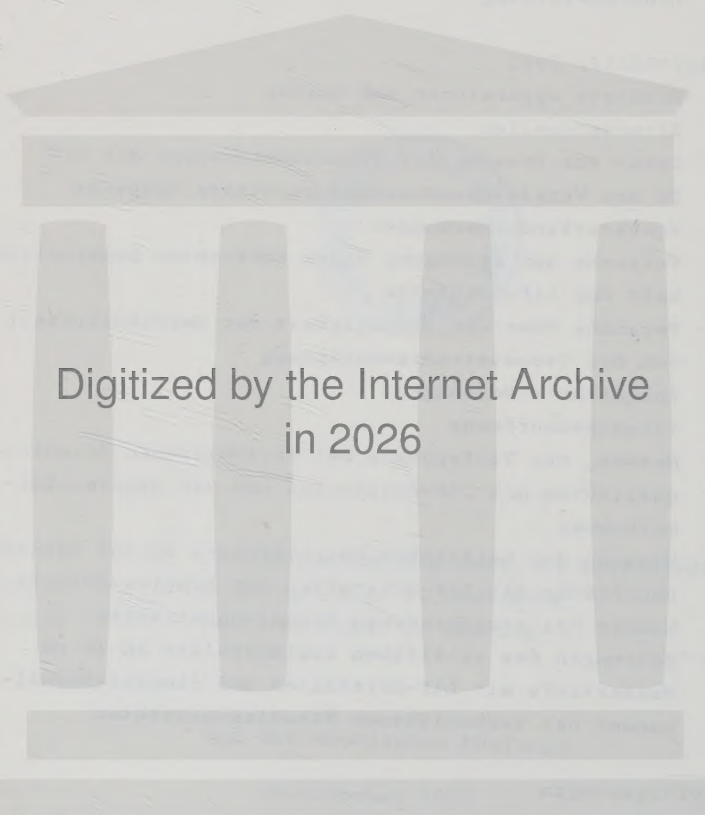
Dekan:	Prof.Dr.med,Dr.med,dent. G. Steinhardt
Referent:	Prof. Dr.-Ing. F. Wachsmann
Koreferent:	Prof. Dr. med. N. Henning

Tag der mündlichen Prüfung:

12.November 1965

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Allgemeines über die Thermolumineszenzdosimetrie mit Lithiumfluorid	1
1.2 Problemstellung	5
2. Experimenteller Teil	5
2.1 Benützte Apparaturen und Geräte	5
2.1.1 Strahlenquellen	5
2.1.2 Gerät zur Messung der Thermolumineszenz des LiF	6
2.1.3 Zu den Vergleichsmessungen benutztes Meßgerät	7
2.2 Vorbereitende Messungen	7
2.2.1 Versuche zur Erzeugung einer konstanten Empfindlichkeit der LiF-Kristalle	7
2.2.2 Versuche über die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Gesamtstrahlenbelastung	11
2.3 Ausgeführte Messungen	14
2.3.1 Versuchsanordnung	14
2.3.2 Messung der Tiefendosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten mit LiF-Kristallen und der Simplex-Normalkammer	16
2.3.3 Messung des seitlichen Dosisabfalles an der Wasseroberfläche mit LiF-Kristallen und Simplex-Normalkammer bei verschiedenen Strahlenqualitäten	18
2.3.4 Messungen des seitlichen Dosisabfalles in 10 cm Wassertiefe mit LiF-Kristallen und Simplex-Normalkammer bei verschiedenen Strahlenqualitäten	21
3. Schlußfolgerungen	24
Zusammenfassung	26
Literaturverzeichnis	27



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548813_0089

1. Einleitung

1.1 Allgemeines über die Thermolumineszenz des Lithiumfluorids

Die ständig zunehmende Anwendung ionisierender Strahlungen in Forschung, Medizin und Technik zwingt zur Vervollkommnung der Methoden der Dosimetrie, nicht zuletzt um einen wirksamen Strahlenschutz zu gewährleisten. Die herkömmlichen Dosimeter, die vor allem auf der Ionisation der Luft, der Schwärzung von Film, dem Zählrohr und dem Szintillationszählerprinzip beruhen, haben ihre festen Anwendungsbereiche. Sie weisen aber auch Nachteile auf, die ihre Verwendbarkeit einschränken. So werden für manche Zwecke der medizinischen Dosimetrie neuartige Dosimeter benötigt, weil beispielsweise Ionisationskammern wegen ihrer zu großen Abmessungen ungeeignet sind. Daher untersuchte man viele andere durch ionisierende Strahlen hervorgerufene Effekte auf ihre Tauglichkeit zur Dosismessung. Als brauchbar erwiesen sich u.a. die Radiophotolumineszenz von mit Silber aktiviertem Phosphatglas (1,2) sowie die Thermolumineszenz folgender Substanzen: mit Mangan aktiviertes CaSO_4 (3), mit Samarium aktiviertes CaSO_4 (4), mit Mangan aktiviertes MgF_2 (5), mit Mangan aktiviertes CaF_2 (6) und schließlich LiF (7).

Werden letztgenannte fünf Substanzen mit ionisierenden Strahlen bestrahlt, so vermögen sie einen Teil der absorbierten Energie zu speichern und bei Erhitzung in Form von sichtbarem Licht wieder abzugeben. Die Untersuchungen von Cameron und Mitarbeitern (7), Stark (8), Tomandl (9) und Frank (10) haben gezeigt, daß das Lithiumfluorid für manche Gebiete der Dosimetrie wie der Personenüberwachung, der Kriegs- und Katastrophendosimetrie und der medizinischen Dosimetrie geeignet erscheint.

Der Mechanismus der LiF -Thermolumineszenz beruht darauf, daß die bei der Absorption von Röntgen- oder Gammastrahlen, durch Comptonprozesse, Photoeffekte und Paarbildung entstehenden Sekundärelektronen von metastabilen Zuständen des LiF -Kristalls eingefangen werden. Führt man diesen Elektronen Energie in Form von Wärme zu, so gelangen sie ins Leitfähigkeitsband und kehren von dort unter Emission sichtbaren Lichtes wieder in den Grundzustand zurück. Die metastabilen Zustände werden von Unregelmäßigkeiten im Kristallaufbau, Gitterfehlstellen und Verunreinigungen im Kri-

stall gebildet. Wenn man die von LiF emittierte Lichtintensität als Funktion der Aufheiztemperatur aufzeichnet, erhält man eine sogenannte Glowkurve mit mehreren Maxima (Peaks). Anzahl und Sequenz der Maxima sind von der Art, die Leuchtintensität und damit die Höhe eines einzelnen Peaks dagegen von der Quantität der jeweiligen metastabilen Zustände abhängig. Stark (8) weist in seiner Diplomarbeit nach, daß die Fläche unter einer Glowkurve, d.h. die Lichtsumme, proportional der eingestrahelten Dosis ist. Man kann jedoch auch die Höhe des Hauptpeaks als Maß für die eingestrahelte Dosis verwenden (8,9,10).

Neben anderen Faktoren wird der Wert eines Dosimeters bestimmt vom Maß seiner Energieabhängigkeit, Empfindlichkeit, Genauigkeit, Speicherefähigkeit der Anzeige über längere Zeit (Fading) sowie durch das Maß seiner Anfälligkeit gegen von außen einwirkende Einflüsse. Die Eigenschaften des LiF wurden unter diesen Gesichtspunkten untersucht. Die einzelnen Autoren bedienen sich bei der Fluoreszenzmethode unterschiedlicher Formen der LiF-Leuchsubstanz und unterschiedlicher Auswertegeräten. Cameron (7) z.B. verwendet pulverförmiges LiF, das er in Gelatine-, Vinyl- oder Polyäthylenkapseln einbringt. Zur Auswertung muß das bestrahlte Pulver aus den Kapseln herausgenommen werden und wird dann in einem lichtdichten Ofen ausgeheizt. Ein Photomultiplier mißt die integrale Lichtsumme, die aus dem Pulver emittiert wird. Die Meßwerte sind angeblich mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ reproduzierbar. Seit kurzer Zeit sind in den USA LiF-Dosimeter und Auswertegeräten im Handel (Harshaw Chemical Co., Cleveland, Ohio; ferner Controls for Radiation Inc., Cambridge, Massachusetts).

Frank (10) verwendet LiF-Pulver, dessen Glowkurve nur einen einzigen Peak bei 105°C aufwies. Es gelang ihm, die Höhe dieses Peaks durch verschiedene Prozeduren wie Dotieren des LiF mit Anionengruppen (z.B. OH-Gruppen), Glühen, Abschrecken, Erzeugung von Strahlungsdefekten (50.000 R) und Ausheilen instabiler Strahlendefekte auf das 100fache zu erhöhen. Frank entwickelt z.Zt. ein neues LiF-Dosimeter mit einem Glowpeak bei 200°C , das ein wesentlich geringeres Fading aufweisen soll als bisher.

Stark (8), Tomandl (9) und Bräunlich (11) benutzen LiF-kristalle, die von der Firma Leitz in Wetzlar gezüchtet wurden.

Dabei handelt es sich um Plättchen, z.B. mit der Abmessung 10 x 10 x 1 mm, die aus einem großen LiF-Kristall herausgeschnitten wurden.

Alle Autoren bestätigen die außerordentlich geringe Energieabhängigkeit des LiF, was durch seine effektive Ordnungszahl von 8,2 zu erklären ist, die der effektiven Ordnungszahl von Luft von 7,6 sehr nahe kommt.

Stark (8) gibt für den Bereich von 30 kV-Röntgenstrahlung bis Co^{60} -Gammastrahlung eine Energieabhängigkeit von nur $\pm 25\%$ an, falls im Elektronengleichgewicht gemessen wurde. Bei Messungen in Luft erzeugt man das Elektronengleichgewicht durch Abdeckung des Kristalls mit einem Cellon- oder Plexiglasfilter. Bei niederenergetischer Strahlung von weniger als 100 kV wird dadurch die Anzeige des in diesem Bereich sehr empfindlichen LiF abgeschwächt, bei Co^{60} -Gammastrahlung wird sie durch den Aufbaueffekt angehoben. Man erhält auch bei der Messung sehr heterogener Strahlungen eine zufriedenstellende Proportionalität zwischen Anzeige und eingestrahelter Dosis. In dieser Beziehung übertrifft das LiF andere Dosimeter wie das manganaktivierte CaF_2 , das silberaktivierte Phosphatglas und auch das Filmdosimeter bei weitem. Aus Abb. 1 geht die unterschiedliche Energieabhängigkeit des LiF bei Messungen mit bzw. ohne Elektronengleichgewicht hervor. Bei Messungen im Phantom entsteht das Elektronengleichgewicht durch das die Kristalle umgebende Material.

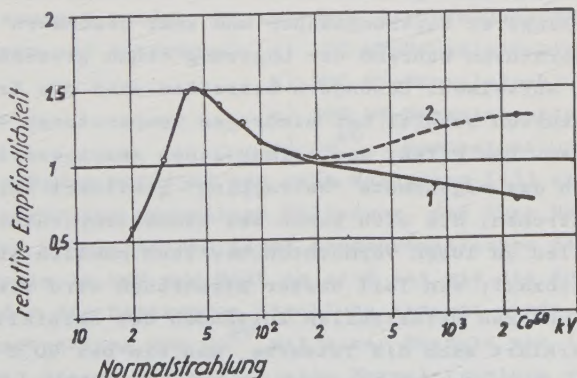


Abb. 1 Energieabhängigkeit ohne (Kurve 1) und mit (Kurve 2) Aufbaueffekt. (aus Tomandl, 9)

Die Empfindlichkeit des LiF hängt hauptsächlich von der Herkunft der verwendeten Kristalle ab, sie schwankt von Schmelze zu Schmelze und unterscheidet sich auch innerhalb ein und desselben Kristallkörpers, je nachdem aus welcher Stelle die einzelnen Proben herausgeschnitten werden. Stark (8) fand, daß manche der von ihm benutzten Kristalle um den Faktor 20 empfindlicher waren als andere. Es muß also jeder Kristall geeicht werden. Die geringste meßbare Dosis liegt bei Kristallen der Abmessung von 10 x 10 x 1 mm und der von uns benutzten Apparatur in der Größenordnung von 10 mR. Die Dosisleistung, mit der bestrahlt wurde, spielt dabei keine Rolle. Die Anzeige ist der eingestrahlten Dosis bis etwa 1000 R proportional; hierauf wird später noch eingegangen werden.

Die Speicherfähigkeit der Anzeige, die durch das sogenannte Fading gestört wird, ist abhängig von der Beschaffenheit der einzelnen LiF-Proben, der Lagerungsdauer und der Temperatur während der Lagerung. Auch bei Zimmertemperatur besteht die Möglichkeit, daß einzelne Elektronen aus einem metastabilen Zustand befreit werden, ins Leitfähigkeitsband gelangen und unter Lichtemission in den vor der Bestrahlung innegehabten Grundzustand zurückfallen. Die Wahrscheinlichkeit dazu ist größer für diejenigen Elektronen, welche während der Ausheizung bereits nach Erreichen von z.B. 90°C freigesetzt werden, als für solche, die erst bei 200°C aus ihren "Traps" entkommen können. Es werden also grundsätzlich alle bestrahlten LiF-Kristalle bei längerer Lagerungsdauer und zwar besonders bei höheren Temperaturen während der Lagerung einen gewissen Anzeigeverlust aufweisen. Besonders betroffen sind die Kristalle, deren Glowkurven bereits bei niedrigen Temperaturen hohe Peaks besitzen. Der Effekt des allmählichen Anzeigeverlustes kann aber durch das sogenannte "Retrapping" gemildert werden. Nicht alle Elektronen, die sich schon bei Zimmertemperatur aus ihren Haftstellen zu lösen vermochten, bewirken nämlich auch einen Lumineszenzakt; ein Teil dieser Elektronen wird vielmehr sofort von anderen metastabilen Zuständen des Kristalls eingefangen. So erklärt sich die Tatsache, daß ein bei 90°C gelegener Glow-peak im Laufe der Lagerung abnimmt und dafür ein bei 150°C gelegener größer wird. Die von uns benutzten Kristalle zeigen bei Lagerung in Zimmertemperatur nach 30 Tagen ein Fading von 8% bis 17%, je nach der Schmelze, aus der sie entnommen waren. Frank (10) nennt für sein pulverförmiges LiF, das nur einen

bei 105°C liegenden Peak besitzt, wesentlich höhere Werte: Er fand nach sechstägiger Lagerung bei 50°C bereits ca. 75% Fading.

LiF-Kristalle sind beständig gegenüber Wasser, Wasserdampf und chemischen Agentien, sie sind ungiftig. Wegen ihrer Härte und Abriebfestigkeit zeigen sie sich auch mechanischen Beanspruchungen gut gewachsen.

1.2 Problemstellung

In der vorliegenden Arbeit sollen nun durch vergleichende Messungen mit einer Ionisationskammer einerseits und LiF-Kristallen andererseits die Verwendungsmöglichkeiten von LiF im Bereich der medizinischen Dosimetrie näher untersucht sowie Vor- und Nachteile der beiden Dosismeßmethoden gegeneinander abgewogen werden. Die erforderlichen Messungen wurden unter Benutzung eines im folgenden noch näher beschriebenen Wasserphantoms durchgeführt.

2. Experimenteller Teil

2.1 Benützte Apparaturen und Geräte

2.1.1 Strahlenquellen

Für die Messungen wurden verschiedene Strahlenqualitäten benutzt. Es kamen zur Anwendung:

- a) 100 kV-Normalstrahlung
- b) 200 kV-Normalstrahlung
- c) 300 kV-Normalstrahlung
- d) Co^{60} - Gammastrahlung

Unter Normalstrahlung versteht man nach Wachsmann (13) eine heterogene Bremsstrahlung derartiger Filterung, daß ihre Halbwertdicke gleich der Halbwertdicke einer monochromatischen Strahlung ist, deren Energie in keV nur halb so groß ist wie die Röhrenspannung, mit der die heterogene Strahlung erzeugt wurde. Der homogenen Gammastrahlung von Co^{60} mit einer Energie von 1,2 MeV entspricht gemäß dieser Definition eine Normalstrahlung von 2,4 MeV.

Die Normalstrahlungen von 100 kV und 200 kV wurden mit einem

Siemens-Stabilipan-200-Röntgentherapieapparat erzeugt, dessen Röhre eine Eigenfilterung von 2 mm Al-Gleichwert besaß. Ein Siemens-Stabilipan-300-Röntgentiefentherapieapparat mit einer Eigenfilterung von ebenfalls 2 mm Al-Gleichwert lieferte die 300 kV Normalstrahlung, ein Siemens-Gammatron mit einer 2000 Curie Kobaltquelle erzeugte die Co^{60} -Gammastrahlung.

2.1.2 Gerät zur Messung der Thermolumineszenz des LiF

Zur Messung der LiF-Thermolumineszenz wurde die von Stark (8) zusammengebaute hochempfindliche Apparatur benutzt. Sie besteht im wesentlichen aus Heizgerät, Photomultiplier, Meßverstärker sowie einem Integrierglied, das im Falle der Lichtsummenmessung einen Kondensator auflädt, dessen Spannung wiederum vom Meßverstärker gemessen werden kann.

Als Heizgerät dient ein Transformator mit nur einer Sekundärwindung, die Leistungsaufnahme beträgt ca. 60 Watt bei 220 Volt. Der Sekundärkreis besteht teils aus einem dicken Kupferband, teils aus einem 0,3 mm dicken und 20 mm breiten Nickelblech, das sich durch Einschalten des Stromes bis auf etwa 400°C erhitzen läßt. Die Aufheizgeschwindigkeit beträgt dabei im Durchschnitt angenähert 10°C pro Sekunde. Die LiF-Kristalle werden bei der Auswertung in eine Vertiefung des Nickelbleches gelegt. Der nur endlich schnelle Wärmeübergang vom Blech in den Kristall wurde nicht berücksichtigt und auf eine Ankoppelung der Kristalle an das Blech mit hochtemperaturbeständigem Silikonöl zwecks besserer Wärmeübertragung verzichtet. Das erschien berechtigt, weil keine Peakhöhenmessungen, sondern nur integrale Lichtsummenmessungen durchgeführt wurden und weil daher ein evtl. durch ungleiche Kristallerwärmung etwas verwaschener Glowpeak nicht stören konnte. Außerdem wurden kleinere Kristalle als bei Stark (8) verwandt; ein kleineres Volumen aber läßt sich pro Zeiteinheit gleichmäßiger erhitzen als ein größeres. (Es wurden zylinderförmige Kristalle von nur 8 mm Höhe und 2 mm Durchmesser benutzt). Ein Photomultiplier vom Typ EMI 6094 B mit gutem Signal-Rausch-Abstand wandelt das vom Kristall emittierte Licht in Strom um, seine Betriebsspannung von etwa 1500 Volt wird von einem hochstabilisierten Netzgerät

vom Typ Knott NSHV 2,5 BN 651 geliefert. Zur Abschirmung der von Nickelblech und Kristall ausgesandten Infrarotstrahlung ist dem Multiplier ein Blaufilter vorgeschaltet. Ein Eichlicht ermöglicht die Überprüfung und Konstanthaltung der Empfindlichkeit des Multipliers. Als Meßverstärker benutzten wir nicht wie Stark (8) das Gerät FH 56, sondern ein Millivoltmeter der Firma Knick, Berlin. Da nur relative Messungen durchgeführt werden sollten, wurde als Einheit der Meßwerte die Anzahl der vom Millivoltmeter angezeigten Skalenteile festgesetzt. Ein Auswertezyklus, bestehend aus Aufheizung, Ablesung des Meßwertes, Weitererhitzung bis auf ca. 400°C zur Löschung einer evtl. vorhandenen Restlumineszenz, sowie Abkühlung des Kristalls dauerte etwa 3 Minuten.

2.1.3 Zu den Vergleichsmessungen benutztes Meßgerät

Die durch das Thermolumineszenzverfahren ermittelten Meßwerte sollten mit den von einer Ionisationskammer gemessenen Werten verglichen werden. Dazu wurde ein Simplex-Universaldosimeter mit einer Simplex-Normalkammer der Firma Phys.-Techn. Werkstätten Dr. Pychlau verwandt. Zur Eichung dieser Normalkammer diente ein Radiumpräparat.

2.2 Vorbereitende Messungen

2.2.1 Versuche zur Erzeugung einer konstanten Empfindlichkeit der LiF-Kristalle

Die bei den Messungen benutzten LiF-Kristalle wurden freundlicherweise von der Firma Leitz in Wetzlar zur Verfügung gestellt. Es handelte sich um 14 zylinderförmige Kristalle von jeweils 8 mm Höhe und 2 mm Durchmesser. Sie waren aus zwei verschiedenen Schmelzkörpern herausgeschliffen worden und zwar 4 Stück aus dem einen, der Rest aus einem anderen. Die 4 Kristalle der einen Serie waren im Erlanger Strahleninstitut schon vorher zu Experimenten benutzt worden, die 10 anderen Kristalle dagegen waren neu und noch unbestrahlt. Um die Empfindlichkeit der letzteren festzustellen, wurden sie am Gammatron einer Testdosis von 300 R ausgesetzt. Sie steckte dabei in den etwa 9 mm tiefen Bohrungen ei-

ner 20 mm dicken Plexiglasscheibe und wurden von unten in ihrer Längsachse durchstrahlt. Die 10 LiF-Stäbchen zeigten auf diese Testdosis hin zwischen 217 und 360 Skalenteile. Um ihre Empfindlichkeit zu steigern und konstanter zu machen, wurden sie anschließend mit einer Dosis von 2500 R bestrahlt, wodurch die 10 Kristalle alle ziemlich gleichmäßig um den Faktor 3,5 empfindlicher wurden. Doch dieser Empfindlichkeitsanstieg blieb nicht konstant, schon nach der nächsten Bestrahlung mit 300 R streute er zwischen den Faktoren 1,8 bis 3,5; damit hatte sich auch die relative Empfindlichkeit der Kristalle untereinander geändert.

Nun wurden die 10 LiF-Stäbchen mit der sehr hohen Dosis von 110.000 R bestrahlt, um festzustellen, ob sie dadurch zu besserer Konstanz gebracht werden könnten. Zunächst resultierte ein neuerlicher Empfindlichkeitsanstieg etwa um den Faktor 2. Aus den 10 Kristallen wurden 4 Stück ausgewählt und in einer längeren Versuchsreihe auf ihr weiteres Verhalten überprüft. Ein jeder von ihnen wurde 80mal mit einer Dosis von 170 R bestrahlt und ausgewertet. Nach der 56. Bestrahlung sowie nach der 60. Bestrahlung mit dieser Dosis von je 170 R wurden Eichtreppen der 4 Kristalle aufgenommen. In der Zeit zwischen der 56. und der 60. Bestrahlung waren die 4 Kristalle bei anderen Experimenten einer zusätzlichen Dosis von je 6000 R ausgesetzt gewesen. Ein Vergleich der jeweiligen Eichtreppen zeigte, daß die Empfindlichkeit der 4 Kristalle nach der 60. Bestrahlung um etwa 40% gegenüber der Empfindlichkeit nach der 56. Bestrahlung abgenommen hatte. Das Ausmaß dieses Empfindlichkeitsverlustes war bei allen 4 Kristallen nahezu gleich groß, so daß in Abb. 2 a die Eichtreppen nur eines der 4 Kristalle eingezeichnet wurden. Sie sind typisch für die Eichtreppen der drei anderen. Die nach der 56. Bestrahlung aufgenommene Eichtreppe ist mit "A₅₆" gekennzeichnet, die nach der 60. Bestrahlung aufgenommene entsprechend mit "A₆₀".

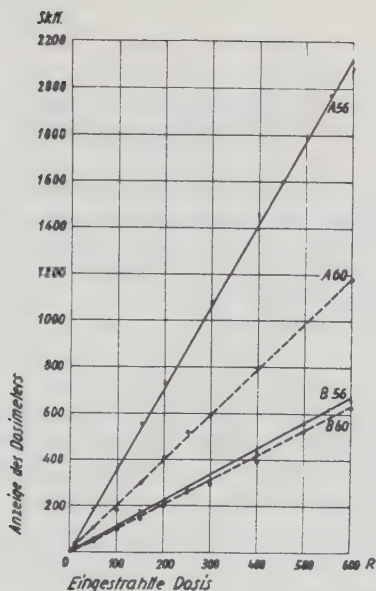


Abb. 2 a: Eichtreppen des für die 4 Testkristalle typischen Kristalls "A" sowie des Kristalls "B", jeweils nach der 56. und 60. Bestrahlung mit der Testdosis von 170 R.

In Abb. 2 a erscheinen unter der Bezeichnung "B₅₆" bzw. "B₆₀" Eichtreppen eines Kristalles "B", der aus einer anderen Schmelze stammte als die eben erwähnten, der Zehnergruppe angehörenden 4 Testkristalle. Die Empfindlichkeitskonstanz des Kristalls "B" ist wesentlich besser als die der 4 Testkristalle. Die eingestrahelte Gesamtdosis betrug am Ende der 60. Bestrahlung für den Kristall "B" weniger als 15.000 R, für die 4 Testkristalle dagegen mehr als je 130.000 R, die letzteren waren auch viel häufiger ausgeheizt worden. Die Proportionalität zwischen eingestrahelter Dosis und Dosisanzeige blieb bei allen Eichtreppen ziemlich konstant, die von den Kristallen gemessenen Einzelmesspunkte streuten etwa im Bereich von $\pm 10\%$ um den jeweiligen Mittelwert.

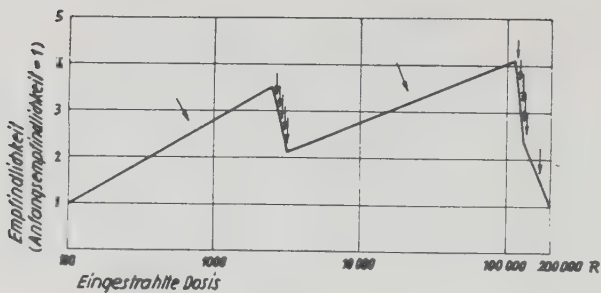


Abb. 2 b: Empfindlichkeitsänderungen der 4 Testkristalle bei zunehmender eingestrahelter Gesamtdosis. Ein einzelner Pfeil über der Kurve zeigt jeweils eine Einzeitbestrahlung mit hoher Dosis an, die beiden Pfeilgruppen dagegen symbolisieren je eine Bestrahlungsreihe mit vielen kleinen Einzeldosen.

Abb. 2 b gibt einen Überblick über die Empfindlichkeitsänderungen der 4 aus der Zehnergruppe stammenden Testkristalle bei zunehmender eingestrahelter Gesamtdosis. Setzt man ihre Anfangsempfindlichkeit gleich 1, so stieg sie nach einer Einzeitbestrahlung von 2500 R auf etwa 3,5 und sank dann nach mehreren Bestrahlungen mit kleineren Dosen von zusammen etwa 600 R auf 2,1. Jetzt erfolgte eine Einzeitbestrahlung von 110.000 R; sie bewirkte einen Empfindlichkeitsanstieg auf 4,1. Im Laufe der anschließenden Versuchsreihe verringerte sich die Empfindlichkeit nach 68 Bestrahlungen mit je 170 R auf 2,4. Die Einzeitbestrahlung von 110.000 R hatte - wie eben erwähnt - einen vorübergehenden Empfindlichkeitsanstieg bewirkt. Durch eine Bestrahlung mit einer Einzeldosis von 70.000 R sollte dieser Effekt reproduziert werden, doch der Versuch mißlang. Die Empfindlichkeit erreichte nach dieser Dosis wieder den Ausgangswert von 1. Danach wurden die Kristalle noch 12mal mit der Testdosis von 170 R bestrahlt, ohne daß sich dadurch die Empfindlichkeit wesentlich änderte. Nun wurde die Versuchsreihe abgebrochen, die dabei benutzten Kristalle wurden später nicht

mehr weiterverwendet.

2.2.2 Versuche über die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Gesamtstrahlenbelastung

In einer zweiten Versuchsserie sollte den Zusammenhängen zwischen Gesamtdosis und Empfindlichkeit der Kristalle nachgegangen werden. Aus den zur Verfügung stehenden LiF-Stäbchen wurden 6 Stück ausgewählt und auf 2 Dreiergruppen verteilt. Ihre Meßwerte sind in Abb. 3 bzw. Abb. 4 aufgetragen. Die darin mit den Ziffern 1,2,4,5 bezeichneten Kristalle stammen aus der Zehnergruppe der einen Schmelze, die mit den Ziffern 3 und 6 bezeichneten aus der anderen Schmelze. Angaben über die vor, während und am Ende dieser zweiten Versuchsreihe eingestrahlten Dosen sind aus folgender Tabelle ersichtlich.

Tabelle	Bei der 2. Versuchsreihe eingestrahlte Dosis in R		
	vorher	während	am Ende

Abb. 3

Kristall 1	115.000	33.000	148.000
Kristall 2	115.000	33.000	148.000
Kristall 3	15.000	33.000	48.000

Abb. 4

Kristall 4	115.000	133.000	248.000
Kristall 5	115.000	133.000	248.000
Kristall 6	15.000	133.000	148.000

Die in Abb. 3 und 4 ausgewerteten Kristalle entsprachen einander bei Versuchsbeginn hinsichtlich ihrer Strahlenvorbelastung. Nun wurden alle 6 Kristalle 110mal mit je 300 R bestrahlt. Zusätzlich dazu wurden die Kristalle 4,5 und 6 nach jeder 10. Messung einer Dosis von 10.000 R ausgesetzt. Die Kristalle der Abb. 3 erhielten somit im Laufe dieser Versuchsreihe eine Dosis von 33.000 R, die Kristalle von Abb. 4 eine Dosis von 133.000 R .

Die LiF-Stäbchen Nr. 3 und Nr. 6 weisen einen anfänglichen Empfindlichkeitsanstieg auf. Bei Nr. 3 bleibt er bis zur 110. Messung erhalten, während er sich bei Nr. 6 nach der 70. Messung zurückzubilden beginnt. Die Unterschiede der beiden Kurven sind jedoch geringfügig.

Die 4 Kristalle aus der Zehnergruppe verhalten sich dagegen anders. Nr. 1 und Nr. 2 zeigen einen mäßigen Empfindlichkeitsverlust. Bei Nr. 4 und Nr. 5 ist dieser offenbar wegen der um 100.000 R höheren Gesamtdosis wesentlich ausgeprägter.

Ein Vergleich der Kristalle Nr. 1,2,4 und 5, die bei Versuchsbeginn mit jeweils 115.000 R vorbestrahlt waren, gegenüber den Kristallen Nr. 3 und Nr. 6 zeigt eine wesentlich bessere Empfindlichkeitskonstanz der beiden letzteren. Die schlechteste Konstanz weisen die Kristalle Nr. 4 und Nr. 5 auf, die beim Ende der Versuchsreihe mit je 248.000 R auch die größte Gesamtdosis erhalten hatten.

Die 6 Kristalle wurden anschließend mit einer weiteren Dosis von 650.000 R bestrahlt. Dadurch wurde bei allen die Empfindlichkeit erheblich verringert, sie betrug nur noch 20% bis 30% der nach der 110. Messung vorhandenen Empfindlichkeit.

Bräunlich (11) fand nach Bestrahlungen mit Dosen über 1.000 R eine durch vermehrte Fehlstellenbildung verursachte Empfindlichkeitssteigerung des LiF. Sie konnte wieder rückgängig gemacht werden, indem die Kristalle stundenlang bei hohen Temperaturen getempert wurden.

Eine Untersuchung, ob sich auch die oben beschriebenen Empfindlichkeitsverluste durch Heizbehandlungen wieder ausgleichen lassen, unterblieb jedoch, weil sie außerhalb des gestellten Themas lag. Kürzlich berichteten Marrone und Atticks (14) über das Verhalten von LiF gegenüber Co^{60} -Gammastrahlung bei Dosen bis zu 10^9 R. Sie benutzten LiF-Dosimeter vom Typ TLD - 100 der Firma Harshaw und werteten sie mit der Peakhöhenmeßmethode aus. Es zeigte sich eine konstante Empfindlichkeit im Bereich von 0,3 - 300 R, eine auf 120% erhöhte Empfindlichkeit bei Dosen von 300 R bis etwa 50.000 R. Bei noch höheren Dosen stellte sich eine dauernd zunehmende Strahlenschädigung ein. Nach 10^6 R betrug die Empfindlichkeit noch 25% des Ausgangswertes, nach 10^8 und 10^9 R nur noch ca. 2% .

Eine Regeneration der Kristalle mittels verschiedener Heizprozeduren war nur in bescheidenem Umfang zu erreichen. Diesen Ergebnissen lassen sich die in den Abbildungen Nr. 3 und Nr. 4 ersichtlichen Meßwerte zwanglos einordnen.

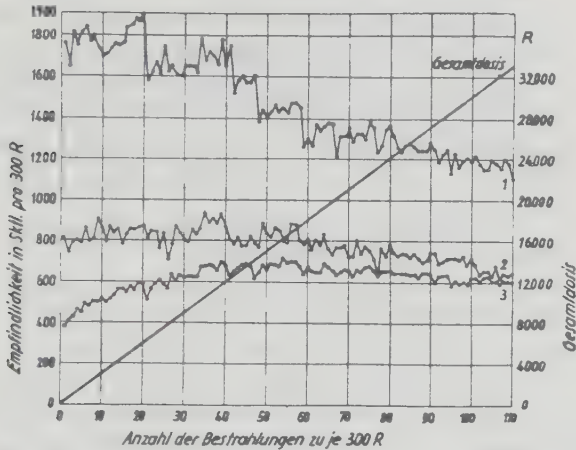


Abb. 3: Empfindlichkeitsverlauf der Kristalle 1,2 und 3 bei 110 Bestrahlungen mit einer Testdosis von je 300 R. Die während dieser Versuchsreihe eingestrahelte Gesamtdosis betrug pro Kristall 33.000 R.

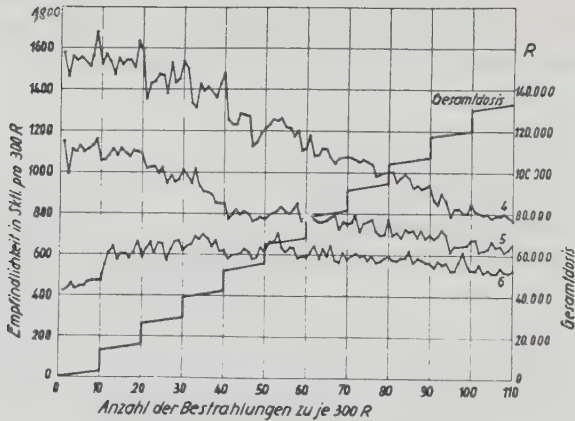


Abb. 4: Empfindlichkeitsverlauf der Kristalle 4, 5 und 6 bei 110 Bestrahlungen mit einer Testdosis von jeweils 300 R. Nach jeder 10. Bestrahlung wurden diese 3 Kristalle einer Zusatzbestrahlung von je 10.000 R ausgesetzt, so daß die während dieser Versuchsreihe eingestrahlte Gesamtdosis pro Kristall 133.000 R betrug.

2.3 Ausgeführte Messungen

2.3.1 Versuchsanordnung

Als Ergebnis aus den zwei vorbereitenden Versuchsreihen folgt, daß mit einer länger anhaltenden Empfindlichkeitskonstanz der LiF-Kristalle nur dann gerechnet werden kann, wenn sie zwischenzeitlich keiner wesentlichen Strahlenbelastung ausgesetzt werden. Um Meßfehler auszuschließen, die durch eine Empfindlichkeitsänderung der Kristalle hätten verursacht werden können, mußten diese vor der Aufnahme einer jeden der in den folgenden Abbildungen eingezeichneten Kurven geeicht werden. Zur Berücksichtigung der Energieabhängigkeit des LiF

erfolgte die Eichung mit der jeweils zu messenden Strahlenqualität. Setzt man nun die Empfindlichkeit von Ionisationskammer und Kristallen in Beziehung zueinander, so ergeben sich für die einzelnen Kristalle bei verschiedenen Strahlenqualitäten jeweils wechselnde Quotienten.

Bei den Messungen fanden zwei bis vier Kristalle gleichzeitig Verwendung. Durch gleichzeitige Benutzung einer größeren Menge von LiF-Kristallen hätte sich zwar die Anzahl der zur Messung einer Kurve nötigen Bestrahlungen verringern lassen; die dabei erzielte Zeitersparnis steht aber in ungünstigem Verhältnis zu dem Zeitaufwand, der für die genaue Eichung einer größeren Zahl von LiF-Stäbchen erforderlich ist.

Um die Konstanz der Dosisleistung der Siemens-Stabilipan-Tiefentherapiegeräte zu kontrollieren, wurden eine Siemens-Fingerhutkammer, manchmal auch ein zweites Simplex-Universaldosimeter mit Simplex-Normalkammer als Monitorkammer verwendet.

Die Messungen der relativen Tiefendosis und des Dosisabfalls am Feldrand in der Wasseroberfläche bzw. in 10 cm Wassertiefe wurden an einem Phantom ausgeführt. Dazu diente ein Wasserbecken aus Plexiglas mit Abmessungen von 57 x 38 x 39 cm. In dem Becken wurde eine senkrecht stehende Plexiglasscheibe fixiert, die im Abstand von 1,0 cm bzw. 1,5 cm mit Bohrungen von 7 mm Durchmesser versehen war. Als Träger der LiF-Kristalle dienten Plexiglasstäbe, die ebenso wie die Simplex-Normalkammer durch die Bohrungen gesteckt wurden. Die große Zahl der Bohrungen erlaubte, die Kristalle wie die Kammer an die gewünschten Meßorte zu bringen. Die Bestrahlungen erfolgten jeweils senkrecht von oben in das Wasserphantom hinein. Die Oberflächendosis sowie die Tiefendosis wurden im Zentralstrahl gemessen, und zwar im Abstand von je 1,5 cm bis hinab in eine Tiefe von 24 cm.

Die Messung des Dosisabfalles am Feldrand in der Wasseroberfläche bzw. in 10 cm Tiefe erfolgte senkrecht zum Zentralstrahl und parallel zur Querachse des Wasserbeckens. Der Abstand betrug zwischen den Meßpunkten 1,5 oder 2,0 cm, gemessen wurde bis zu 20 cm Entfernung vom Zentralstrahl. Bei allen Messungen betrug die Feldgröße 100 cm² und der Abstand zwischen Fokus und Wasseroberfläche 50 cm. Die benutzten Strahlenqualitäten wurden schon

auf Seite 5 erwähnt.

2.3.2 Messung der Tiefendosis bei verschiedenen Strahlenqualitäten mit LiF-Kristallen und der Simplex-Normalkammer

Abb. 5 zeigt die Tiefendosiskurven einer 100 kV-Normalstrahlung und einer 200 kV-Normalstrahlung bei 100 cm² Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand; beide wurden sowohl mit LiF-Kristallen als auch mit der Simplex-Normalkammer gemessen. Bei der 100 kV-Kurve stimmen die Werte von Kristall und Kammer bis in 14 cm Tiefe überein, danach fällt die mit den LiF-Kristallen gemessene Kurve etwas flacher ab als die Ionisationskammer-Kurve. Bei der 200 kV-Normalstrahlung geht die Übereinstimmung nur bis in 5 cm Tiefe, danach beginnt der flachere Abfall der mit den Kristallen gemessenen Kurve.

In Abb. 6 sind die Kurven einer 300 kV-Normalstrahlung sowie von Co⁶⁰-Gammastrahlung bei sonst gleichen Meßbedingungen wie in Abb. 5 aufgetragen. Bei der 300 kV-Normalstrahlung setzt in etwa 14 cm Tiefe ein flacherer Dosisabfall der mit den LiF-Kristallen gemessenen Kurve ein. Bei der Co⁶⁰-Gammastrahlung stimmen die von der Ionisationskammer und den Kristallen ermittelten Werte überein.

Dafür gibt es die folgende einfache Erklärung: Bei der Absorption von 100 kV-, 200 kV- und 300 kV-Normalstrahlungen in Wasser entsteht in größeren Tiefen eine weiche Streustrahlung, die teilweise von der Wand der Ionisationskammer absorbiert und daher nicht mitgemessen wird. Die LiF-Kristalle dagegen messen diese Streustrahlung in vollem Umfange mit; so sind in größeren Wassertiefen die mit LiF gemessenen Tiefendosiskurven im Vergleich zu den entsprechenden mit Ionisationskammern gemessenen geringfügig angehoben.

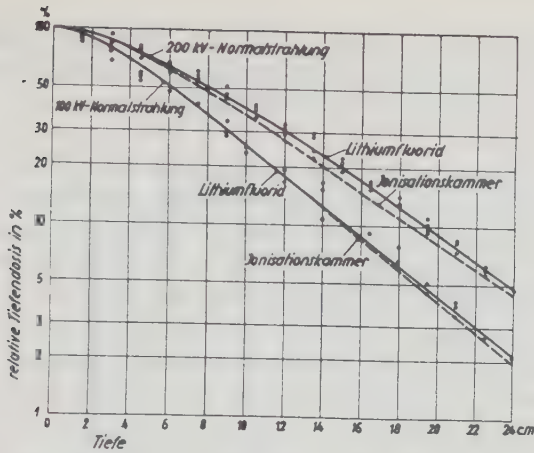


Abb. 5: Tiefendosiskurven einer 100 kV-Normalstrahlung und einer 200 kV-Normalstrahlung bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand. Die mit der Ionisationskammer gemessenen Kurven sind jeweils gestrichelt, die mit dem LiF gemessenen Kurven sind durchgezogen. Alle eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit den LiF-Kristallen gemessen.

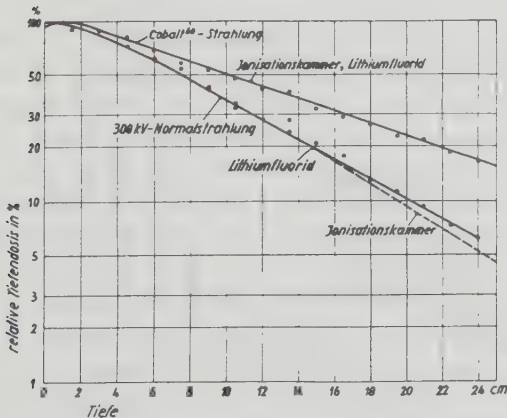


Abb. 6: Tiefendosiskurven einer 300 kV-Normalstrahlung und von Co^{60} -Gammastrahlung bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand. Alle eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen. Die mit dem LiF gemessenen Kurven sind durchgezogen.

2.3.3 Messung des seitlichen Dosisabfalles an der Wasseroberfläche mit LiF-Kristallen und Simplex-Normalkammer bei verschiedenen Strahlenqualitäten

Abb. 7 zeigt bei 100 kV-Normalstrahlung für den seitlichen Dosisabfall in der Wasseroberfläche übereinstimmende Werte für die Messung mit LiF-Kristallen und der Ionisationskammer.

Der seitliche Dosisabfall in der Wasseroberfläche bei 200 kV-Normalstrahlung ist in Abb. 8, für 300 kV-Normalstrahlung in Abb. 9 aufgetragen. In beiden Abbildungen beginnen die den LiF-Kristallen entsprechenden Kurven in 9 cm Abstand vom Zentralstrahl etwas flacher abzufallen als die mit der Ionisationskammer gemessenen Kurven, weil die in einiger Entfernung vom Zentralstrahl auftretende weiche Streustrahlung vom LiF stärker berücksichtigt wird als von der Simplex-Normalkammer.

In Abb. 10 zeigt sich für den seitlichen Dosisabfall an der Wasseroberfläche bei Co^{60} -Gammastrahlung ein umgekehrtes Bild. In einer Entfernung von 7 cm vom Zentralstrahl beginnen die mit den LiF-Kristallen gemessenen Werte stärker abzufallen als die entsprechenden Werte der Ionisationskammer. Dafür gibt es die folgende Erklärung: Das Dosismaximum der Tiefendosis-Kurve für Co^{60} -Gammastrahlung liegt wegen des Aufbaueffektes nicht in der Wasseroberfläche, sondern in etwa 0,5 cm Tiefe. Nun taucht die Ionisationskammer bei 6 mm Durchmesser 3 mm tief in das Wasser ein und mißt dadurch bereits einen Teil der ansteigenden Tiefendosis mit. Die LiF-Kristalle dagegen tauchen bei ihrem Durchmesser von 2 mm nur 1 mm tief in das Wasser ein, sie liegen also nicht ganz genau an demselben Meßort wie die Ionisationskammer und messen daher den Aufbaueffekt in geringerem Umfange mit als die Ionisationskammer. So kommt es, daß in Abb. 10 die mit dem LiF gemessenen Werte wegen der geringen Eintauchtiefe der Kristalle relativ niedriger liegen als bei den Strahlungen niedrigerer Energie in den Abbildungen 7, 8 und 9, bei denen der Aufbaueffekt nicht so stark ausgeprägt ist wie bei der Co^{60} -Gammastrahlung, deren Dosismaximum daher näher an der Wasseroberfläche liegt.

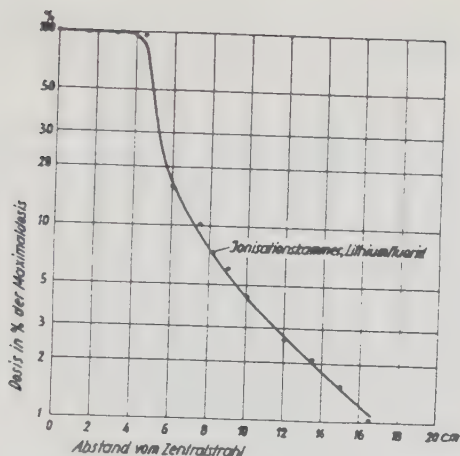


Abb. 7: Seitlicher Dosisabfall an der Wasseroberfläche bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 100 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

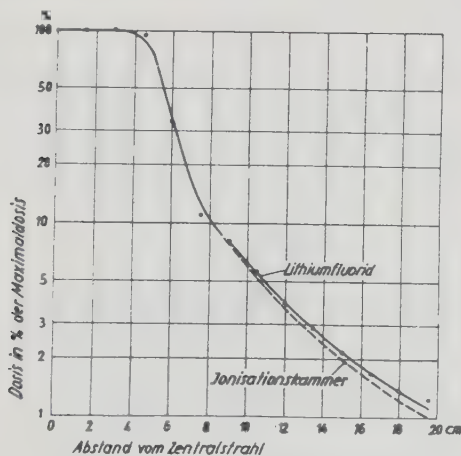


Abb. 8: Seitlicher Dosisabfall an der Wasseroberfläche bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 200 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

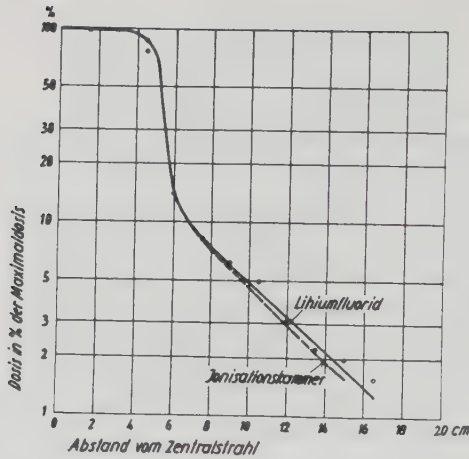


Abb. 9: Seitlicher Dosisabfall in der Wasseroberfläche bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 300 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

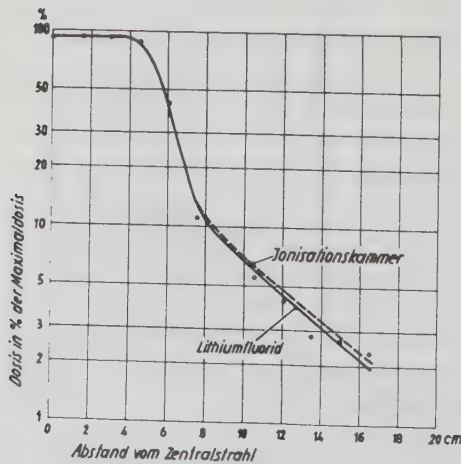


Abb. 10: Seitlicher Dosisabfall in der Wasseroberfläche bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für Co^{60} -Gammastrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

2.3.4 Messungen des seitlichen Dosisabfalles in 10 cm Wassertiefe mit LiF-Kristallen und Simplex-Normalkammer bei verschiedenen Strahlenqualitäten

Der Dosisabfall am Feldrand in 10 cm Wassertiefe ist für 100 kV-Normalstrahlung in Abb. 11 und für 200 kV-Normalstrahlung in Abb. 12 aufgetragen. In beiden Abbildungen stimmen die von Ionisationskammer und LiF-Kristallen gemessenen Werte bis zu einem Abstand von etwa 6 cm vom Zentralstrahl überein. Dort liegt auch die Grenze des Primärstrahlenkegels. Mit zunehmendem Abstand vom Zentralstrahl werden die LiF-Kurven gegenüber den zugehörigen Ionisationskammerkurven ein wenig angehoben. Die Unterschiede zwischen den jeweiligen Kurven sind jedoch nicht sehr deutlich, zumal die mit Kristallen gemessenen Werte teilweise bis zu $\pm 10\%$ um den Mittelwert des jeweiligen Meßpunktes streuen.

In Abb. 13 ist der seitliche Dosisabfall in 10 cm Wassertiefe für 300 kV-Normalstrahlung aufgetragen. Die mit Simplex-Normalkammer und LiF-Kristallen gemessenen Kurven fallen zusammen.

In Abb. 14 ergibt die Messung des seitlichen Dosisabfalles in 10 cm Wassertiefe bei Co^{60} -Gammastrahlung nach anfänglicher Übereinstimmung für die LiF-Kurve leicht erhöhte Werte gegenüber der mit der Ionisationskammer gemessenen Kurve. Wie schon in den Abbildungen 11 und 12 scheinen die LiF-Kristalle zur Messung der außerhalb des Primärstrahlenkegels vorherrschenden Streustrahlen empfindlicher zu sein als die Simplex-Normalkammer, womit die in größerem Abstand vom Zentralstrahl relativ langsamer absinkenden Werte der LiF-Kristalle zu erklären sind.

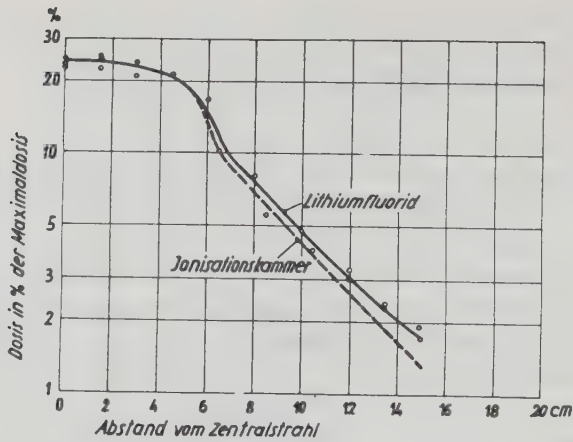


Abb. 11: Seitlicher Dosisabfall in 10 cm Wassertiefe bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 100 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

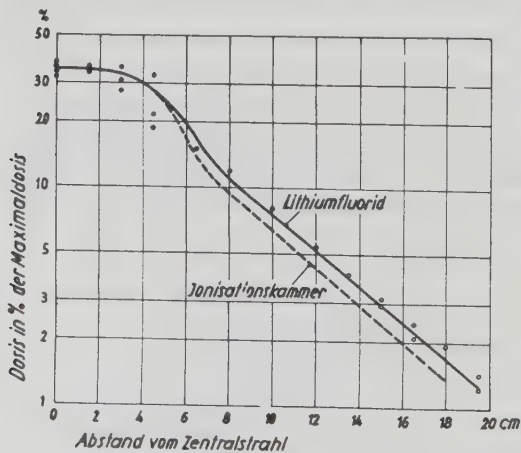


Abb. 12: Seitlicher Dosisabfall in 10 cm Wassertiefe bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 200 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

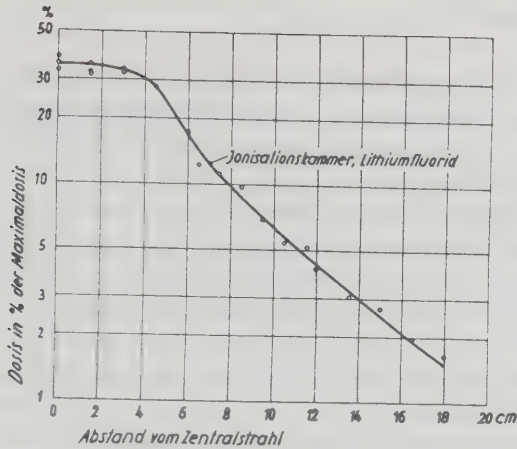


Abb. 13: Seitlicher Dosisabfall in 10 cm Wassertiefe bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für eine 300 kV-Normalstrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

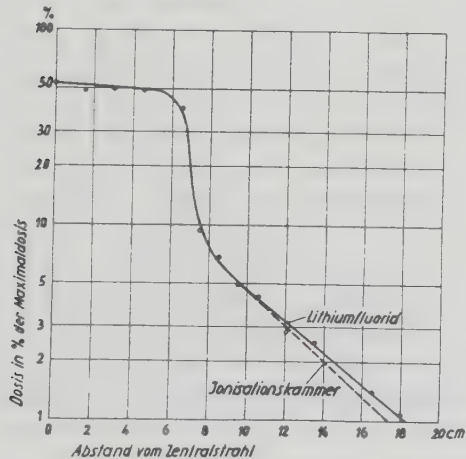


Abb. 14: Seitlicher Dosisabfall in 10 cm Wassertiefe bei 100 cm^2 Feldgröße und 50 cm Fokus-Wasseroberflächen-Abstand für Co^{60} -Gammastrahlung. Die eingezeichneten Einzelmeßpunkte sind mit LiF-Kristallen gemessen.

3. Schlußfolgerungen

Die Messungen zeigten erneut, daß die Ionisationskammer wegen ihrer Empfindlichkeitskonstanz und Genauigkeit die Möglichkeit bietet, gefundene Meßwerte beliebig oft exakt zu reproduzieren. Die Ionisationskammer wird daher ihren Rang als eine Standardmethode der Dosimetrie ionisierender Strahlen behalten. Im Vergleich dazu zeigten die Dosismessungen mit LiF-Kristallen eine schlechtere Meßgenauigkeit der Kristalle. Die Hauptursachen dafür sind die verschiedene Empfindlichkeit der Kristalle untereinander und vor allem ihre Empfindlichkeitsänderungen bei Zunahme der eingestrahlten Gesamtdosis. Das erfordert ein oftmaliges Nacheichen der Kristalle. Aber selbst nach sorgfältiger Eichung streuen die von den Kristallen ermittelten Meßwerte innerhalb einer einzelnen Meßreihe in weit größerem Umfang als bei Messungen mit der Ionisationskammer. Dafür ist zum Teil die Auswerteapparatur verantwortlich zu machen, die z.B. durch eine bessere Abschirmung des Photomultipliers vor der bei der Ausheizung entstehenden Infrarotstrahlung konstantere Meßwerte ermöglichen könnte. Zum Teil ist das Streuen der Meßwerte auch durch die Kristalle bedingt, die schon nach 24-stündiger Lagerung bei Zimmertemperatur ein geringes Fading aufweisen. So zeigten sich in der Versuchsreihe, deren Meßpunkte in Abb. 3 und 4 aufgetragen sind, besonders niedrige Werte dann, wenn die Ausheizung nicht unmittelbar nach der Bestrahlung, sondern erst 24 Stunden später erfolgte. Die Meßwerte innerhalb einer Versuchsreihe streuten etwa in der Größenordnung von $\pm 10\%$ um den Mittelwert. Mit zunehmender Gesamtstrahlenbelastung setzt ein Empfindlichkeitsverlust ein, der nach Marrone (14) durch eine irreversible Schädigung der Kristalle verursacht ist. Dadurch wird die Verwendbarkeitsdauer der Kristalle beschränkt; sie sollten nicht mehr weiterbenutzt werden, wenn sie einer Gesamtdosis von etwa 20.000 R bis 50.000 R ausgesetzt waren.

Trotz der geschilderten Nachteile der LiF-Kristalle gegenüber der Ionisationskammer war es möglich, mit ihnen bei der Messung von Tiefendosiskurven sowie von Kurven vom seitlichen Dosisabfall Meßwerte zu erhalten, die mit den von der Ionisa-

tionskammer gemessenen Werte innerhalb des Primärstrahlenkegels völlig, im übrigen Bereich befriedigend übereinstimmen. Damit ist die Eignung der LiF-Kristalle für Zwecke der medizinischen Dosimetrie bewiesen.

Folgende Verbesserungen der Thermolumineszenzdosimetrie mit LiF-Kristallen sind denkbar und anzustreben: Es sollten Kristalle hergestellt werden, deren Empfindlichkeit untereinander einheitlicher ist als bisher. Das ist vielleicht dadurch zu erreichen, daß man LiF-Stäbchen aus Kristallpulver presst, welches aus einer Mischung verschiedener Schmelzen und Stellen der Zuchtkörper stammt. Simultanmessungen mit vielen Kristallen bei nur einer Bestrahlung würden dadurch außerordentlich erleichtert. Dieses Problem wird gegenwärtig von Rohm im Erlanger Strahleninstitut bearbeitet. Ferner sollte das Fading der Kristalle vermindert werden, indem man Kristalle herstellt, deren Glowpeaks erst bei solchen Temperaturen auftreten, die erheblich höher sind als die Zimmertemperatur. Vor allem aber muß versucht werden, die Empfindlichkeit der Kristalle trotz ansteigender eingestrahlter Gesamtdosis über längere Zeit konstant zu halten, damit die Kristalle nicht mehr so häufig wie bisher der Nacheichung bedürfen, was mit erheblichem Zeitaufwand verbunden ist. Die in Abb. 3 und - noch deutlicher - in Abb. 4 aufgetragenen Meßpunkte zeigen die Tendenz, daß sich die Empfindlichkeit der Kristalle mit zunehmender Gesamtdosis einem mittleren Niveau annähert. Die anfangs sehr empfindlichen Kristalle weisen einen Empfindlichkeitsverlust auf, dagegen wurden die bei Beginn der Versuchsreihe unempfindlichen Kristalle etwas empfindlicher. Es hätte im Rahmen dieser Arbeit zu weit geführt zu untersuchen, ob sich die Kristalle durch Vorbestrahlung mit sehr hohen Dosen in der Größenordnung von 10^6 R und darüber vielleicht zu einheitlicher und gleichbleibender Empfindlichkeit bringen lassen. Es erscheint jedoch denkbar, daß in diese Richtung zielende Versuche die Eignung der LiF-Kristalle zur medizinischen Dosimetrie verbessern können.

Wenn es gelingt, einige der angedeuteten Verbesserungen zu verwirklichen, kann damit gerechnet werden, daß sich die Thermolumineszenzdosimetrie mit LiF-Kristallen mehr und mehr durchsetzen und neben den anderen Dosismessmethoden ihren festen Platz einnehmen wird.

Zusammenfassung

Durch vergleichende Messungen mit einer Ionisationskammer einerseits und LiF-Kristallen andererseits sollten die Verwendungsmöglichkeiten der LiF-Thermolumineszenz in der medizinischen Dosimetrie näher untersucht werden. Die Messungen wurden unter Benutzung von 100 kV-, 200 kV- und 300 kV-Normalstrahlung sowie von Co^{60} -Gammastrahlung verschiedener Strahlenquellen an einem Wasserphantom durchgeführt. Ein Simplex-Universaldosimeter mit einer Simplex-Normalkammer diente als Repräsentant einer Ionisationskammer. Für die Messungen mit dem LiF wurden 14 zylinderförmige Kristalle (2 mm Durchmesser, 8 mm Höhe) verwendet. Bei Vorversuchen zeigten sich häufige Änderungen der Kristallempfindlichkeit, die zu oftmaliger Nach-eichung zwingen. Mit zunehmender eingestrahelter Gesamtdosis setzt im allgemeinen ein Empfindlichkeitsverlust ein, der nach Marrone (14) durch eine irreversible Schädigung der Kristalle verursacht ist. Ein Vergleich der gemessenen Tiefendosiskurven sowie der Kurven vom Dosisabfall am Feldrand in der Wasseroberfläche bzw. in 10 cm Wassertiefe zeigt Übereinstimmung von Ionisationskammer und LiF-Kristallen im Bereich des Primärstrahlenkegels. Jedoch besitzen die Kristalle eine höhere Empfindlichkeit gegenüber weicher Streustrahlung als die Ionisationskammer, daher sind in größeren Wassertiefen bzw. in weiterem Abstand vom Zentralstrahl die mit den Kristallen gemessenen Werte gegenüber den Ionisationskammerwerten geringfügig erhöht. Die mit den LiF-Kristallen ermittelten Meßpunkte streuen in der Größenordnung von $\pm 10\%$ um den jeweiligen Mittelwert. Es werden einige Wege angedeutet, mittels derer versucht werden kann, die Meßgenauigkeit, Reproduzierbarkeit und Empfindlichkeitskonstanz der LiF-Kristalle zu erhöhen und damit ihre Verwendbarkeit zur medizinischen Dosimetrie zu verbessern.

Literaturverzeichnis

- (1) Ryosuke Yokota, Saburo Nakajima and Eiji Sakakai:
Health Physics Pergamon Press, 5, 219 (1961)
- (2) Ginther, R.J. and J.H. Schulman:
Nucleonics 18, Nr. 4, 92 (1960)
- (3) Kossel, W., U. Mayer und H.C. Wolf:
Naturwissenschaften 41, 209 (1954)
- (4) Peter, H.:
Atomkernenergie 5, 453 (1960)
- (5) Bräunlich, P., W. Hanle und A. Scharmann:
Z. Naturforsch. 16 a, 869 (1961)
- (6) Schulman, J.H., F.H. Attix, E.J. West and R.J. Ginther:
Rev. Sci. Instrum. 31, 1263 (1960)
- (7) Cameron, J.R., F. Daniels, N. Johnson and G. Kenney:
Science 134, 333 (1961)
- (8) Stark, G.:
Diplomarbeit, Institut für Strahlenkunde der Universität
Erlangen-Nürnberg (1963)
- (9) Tomandl, G.:
Diplomarbeit, Institut für Strahlenkunde der Universität
Erlangen-Nürnberg (1963)
- (10) Frank, M.:
Kernenergie 6, Heft 2, 76 - 80 (1963)
- (11) Bräunlich, P. und A. Scharmann:
Nukleonik 4, 65 (1962)
- (12) Fix, R.C. and R.C. Mc Call:
IX. Annual Meeting Health Physics Society, June 15th - 19th,
1964

- (13) Wachsmann, F.:
Physikal. Grundlagen der Röntgentherapie und Dosimetrie,
aus Meyer, H.- Matthes: Die Strahlentherapie, Thieme-
Verlag Stuttgart (1949)
- (14) Marrone, M.J. and F.H. Attix:
Health Physics Pergamon Press, 10, 431 (1964)

Herrn Prof. Dr. F. Wachsmann möchte ich für die freundliche Überlassung des Themas und für die Übernahme des Referates meinen ergebenen Dank aussprechen.

Herrn Dipl.-Ing. G. Drexler danke ich für die vielseitige Unterstützung meiner Arbeit.

Meinen lieben Eltern sei diese Arbeit in Dankbarkeit gewidmet.

Lebenslauf

Am 4. Dezember 1940 wurde ich als Sohn des Diplom-Handelslehrers Oberstudienrat Wolfgang Keil und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Büchner in Freiberg/Sachsen geboren. Die Volksschule besuchte ich vom September 1947 bis zum Mai 1950 in Dresden, danach bis zum April 1951 in Bochum/Westfalen. Im April 1951 trat ich in das Staatl. Gymnasium Bochum ein, vom Mai 1957 bis zum Juli 1959 besuchte ich das humanistische Melanchthon-Gymnasium in Nürnberg, wo ich auch die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1959/60 und im Sommersemester 1960 studierte ich an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Medizin und bestand im August 1960 den naturwissenschaftlichen Teil der ärztlichen Vorprüfung. Ich setzte mein Studium an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz fort, wo ich drei Semester später im April 1962 die ärztliche Vorprüfung absolvierte und anschließend noch mein 1. klinisches Semester verbrachte. Im Wintersemester 1962/63 studierte ich an der Universität Wien. Im Sommersemester 1963 kehrte ich an die Universität Erlangen zurück und bin dort seit Oktober 1963 mit der Abfassung meiner Dissertation beschäftigt. Das medizinische Staatsexamen habe ich im Sommer 1965 abgelegt.

